



## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.891.3

### АЛГОРИТМ ПОСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОГО ДИАГНОЗА ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ СЕРДЦА ДЛЯ ПРОГРАММЫ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АРМ-КАРДИОЛОГ

**В.М. НИКИТИН  
Е.А. ЛИПУНОВА  
О.А. ЕФРЕМОВА  
Д.А. АНОХИН  
А.А. МЕРЗЛИКИН  
И.Н. КУРШУБАДЗЕ**

*Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет*

*e-mail: nikitin@bsu.edu.ru*

В статье рассмотрен оригинальный алгоритм постановки первичного электронного диагноза ишемической болезни сердца (ИБС) для программы экспертной системы «АРМ-Кардиолог», являющейся элементом телекоммуникационных технологий. Предложенное техническое решение позволяет медицинскому персоналу осуществлять персонализацию кардиологических услуг, имеющих, в первую очередь, профилактическую направленность. Также предложен метод оценки эффективности программы экспертной системы «АРМ-Кардиолог» по результатам проводимых клинических испытаний.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, телемедицина, кардиология, автоматизированное рабочее место, электронный диагноз, ИБС, теорема Байеса.

**Введение.** Статья посвящена разработке алгоритма оценки величин условной вероятности риска развития ишемической болезни сердца (ИБС), значения которых необходимы для последующей генерации медицинского управляющего решения (МУР). Генерация МУР, в свою очередь, осуществляется по результатам комплексного анализа различных кардиоданных, полученных на основании неинвазивного контроля текущего состояния сердечнососудистой системы пациента [1-4]. При этом под медицинским управляющим решением понимается сгенерированный электронный диагноз, который дополнительно может содержать рекомендации пациенту, бригаде скорой помощи или медперсоналу к оказанию первой медицинской помощи и последующему лечению. Предлагаемое техническое решение является одним из элементов кардио-информационного пространства, создаваемого на основе технологии «Телемедицина» (система технических и программных средств, обеспечивающих регистрацию, передачу, прием, и обработку кардиоданных, а также передачу сгенерированных МУР потребителям). Архитектура телемедицинской сети Российской Федерации и телекоммуникационная структура иллюстрируются на рис. 1, 2 соответственно [1].

Одной из основных процедур предлагаемого алгоритма оценки величин условной вероятности риска развития ИБС является формирование диагностических признаков (ДП) ИБС, которая предусматривает вычисление их значений для конкретного пациента на основе анализа различных кардиоданных неинвазивного контроля текущего состояния его сердечнососудистой системы (ССС). Затем определяют формальное описание текущего состояния СССР как совокупность вычисленных номеров групп (далее значений) ДП ИБС пациента.

Следующий этап реализации алгоритма предполагает формирование обучающей выборки, которая представляет собой совокупность предварительно вычисленных величин частот наступления события, наличия или отсутствия ИБС для различных значений ДП репрезентативной выборки пациентов, по которым уже был поставлен с достаточной степенью достоверности соответствующий диагноз. Далее вычисляется оценка риска развития ИБС на основе сравнения параметров формального описания текущего состояния СССР конкретного



пациента с соответствующими параметрами сформированной обучающей выборки. Кроме того, как показано в [1, 3], обучающая выборка, как опорная информация, может быть использована для выявления динамики и характера изменения параметров формального описания состояния ССС пациента. Информация о динамике и характере изменения параметров формального описания текущего состояния ССС пациента необходима при уточнении недостающих значений ДП, а также для осуществления персонификации данных, путём назначения врачом-кардиологом соответствующих первоначальных весовых коэффициентов значимости каждого ДП для конкретного пациента, которые заносятся в его кардиоисторию.



Рис. 1. Архитектура телемедицинской сети Российской Федерации



Рис. 2. Телекоммуникационная структура



Важно отметить, что процесс вычисления оценки риска развития ИБС включает несколько циклов, на каждом из которых врач-кардиолог осуществляет процедуру обучения программы путем корректировки соответствующих весовых коэффициентов значимости ДП. Кроме того в процессе реализации этого алгоритма осуществляется пополнение обучающей выборки путем внесения в неё данных о пациенте, по которому сгенерирован окончательный диагноз о наличии или отсутствии ИБС. Такой подход к формированию обучающей выборки позволяет за счет постоянной актуализации обеспечивать её репрезентативность.

Анализ известных работ [4, 5], посвящённых решению проблемы построения кардио-информационного пространства с целью поддержки принятия медицинских решений, показывает, что в настоящее время известны следующие группы систем, использующие в качестве входной информации кардиоданные, характеризующие состояние ССС человека:

- информационно-справочные медицинские программы (предназначены для поиска и выдачи медицинской информации по запросу пользователя, не используются для обработки кардиоданных);
- лечебно-диагностические компьютерные программы (предназначены для диагностики заболеваний посредством обработки и анализа кардиоданных, а также для прогноза будущего состояния ССС и выработки рекомендаций по способам лечения);
- специализированные медицинские программы (приборно-компьютерные системы и автоматизированные рабочие места, предназначенные для автоматизации технологического процесса диагностики заболеваний, при этом обработка кардиоданных необязательна).

Недостатками данных систем являются: невозможность проведения врачом-кардиологом проверки адекватности вычисленной оценки; отсутствие или ограниченность функции обучения путём извлечения знаний врача-кардиолога в процессе работы; недостаточно полное использование данных кардиологической истории пациента в качестве дополнительного диагностического признака заболеваний.

### **Алгоритм диагностики риска развития ИБС**

Алгоритм предполагает вычисление условной вероятности риска развития ИБС у пациента, для чего на основе анализа кардиоданных осуществляется классификация состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) пациента по группам диагностических признаков (ДП) ИБС. При этом под ДП ИБС понимаются:

- симптомы ИБС (например, боль в грудной клетке и т.д.);
- результаты клинических анализов (например, результаты анализа крови и т.д.);
- данные инструментальных обследований (например, заключения при проведении электрокардиографии и т.д.);
- факторы риска развития ИБС (например, факт курения и т.д.);
- совокупности взаимосвязанных ДП ИБС (например, ДП «наличие мутации гена ApoE Аллель Е4» при условии одновременного курения имеет эффект синергии, дополнительно повышающий вероятность риска развития ИБС в 1,45 [6]).

Отметим следующие ограничения, принятые нами при формировании ДП ИБС: во-первых, по каждому ДП текущее состояние ССС пациента может быть классифицировано по  $k \in [3; \infty]$  группам; во-вторых, для каждого ДП текущее состояние ССС пациента может соответствовать только одной группе. Если осуществить процедуру классификации состояния ССС пациента по группам с учётом упомянутых ограничений не удаётся, тогда делается вывод о недостаточности входных данных и проводится классификация в группу под номером 1 «Группа не определена». Недостающая информация может быть удалённо затребована у врача-кардиолога, других специалистов (например, регистрация данных ЭКГ бригадой скорой помощи) или пациента (посредством самотестирования). Блок-схема разработанного авторским коллективом алгоритма оценки риска развития ИБС иллюстрируется на рис. 3. Проведём более детальный анализ функционирования этого алгоритма.

Процесс оценки условной вероятности риска развития ИБС у пациента предполагает выполнение следующих процедур [7, 8]:

- получение входных кардиоданных в виде обработанных кардиосигналов и данных от врача-кардиолога и пациента, описывающих текущее состояние ССС пациента;
- обработка кардиоданных с целью вычисления значений ДП ИБС и формирования формального описания текущего состояния ССС;
- вычисление вероятности наличия или отсутствия ИБС у конкретного пациента;
- передача вычисленной оценки риска развития ИБС врачу-кардиологу с детализацией процесса вычисления вероятности ИБС;
- определение врачом-кардиологом адекватности электронной оценки риска развития ИБС;



- корректировка, при необходимости, врачом-кардиологом оценки риска развития ИБС путем назначения весовых коэффициентов значимости ДП, которые будут использованы на последующих итерациях вычислений вероятности наличия или отсутствия ИБС.

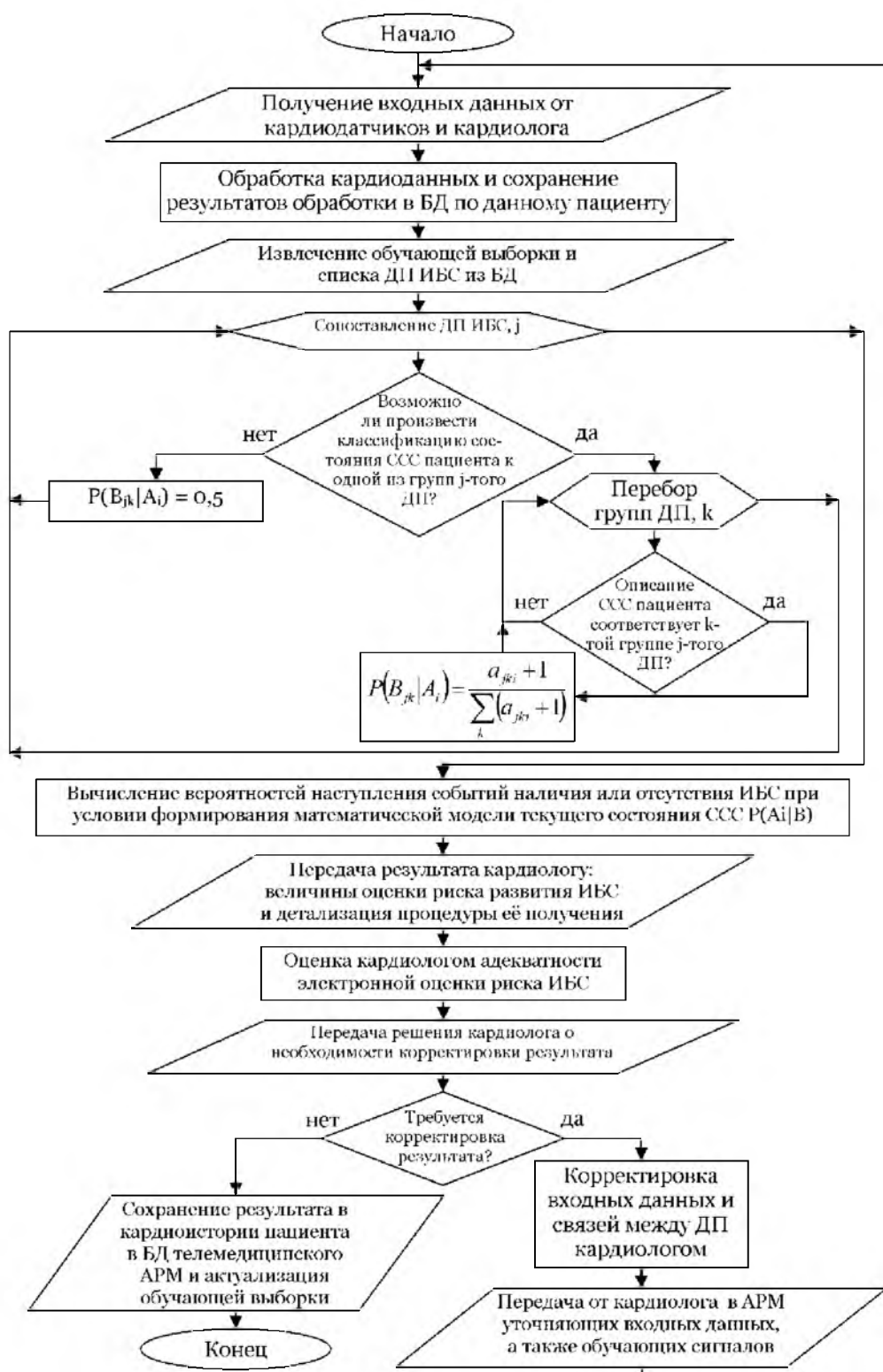


Рис. 3. Блок-схема интеллектуального алгоритма оценки риска развития ИБС

По существу, последняя процедура представляет собой обучение врачом-кардиологом программы АРМ-Кардиолог [7, 8], которое заключается в следующем:



1. Персонализация работы программы посредством первоначального назначения и последующих соответствующих корректировок врачом-кардиологом весовых коэффициентов значимости каждого ДП. При этом первоначальное присвоение значений коэффициентов значимости ДП осуществляется автоматически на основании ранее выставленных значений (в интерфейсе программы называемых «общими значениями» [7]), что позволяет уменьшить степень влияния отдельных ДП на вычисляемую оценку риска развития ИБС, если врач-кардиолог не считает их адекватными. Обратим внимание на то, что правильность корректировки коэффициентов значимости каждого ДП, определяющих степень их влияния на величину оценки риска развития ИБС, может зависеть от нескольких факторов. Прежде всего, необходимо отметить ситуации, при которых могут иметь место некорректные значения ДП, что, как правило, обусловлено относительно малой обучающей выборкой или неверно составленных ДП и их групп. Погрешности корректировки коэффициентов значимости могут быть также обусловлены недостаточным уровнем профессиональной подготовки врача-кардиолога, проводящего процедуру обучения. Все корректировки коэффициентов значимости ДП сохраняются в качестве персональных для конкретного пациента. Важно также отметить, что при обучении персональные коэффициенты обладают большим приоритетом по сравнению с общими при их взаимном несовпадении.

2. Пополнение обучающей выборки путем внесения в неё данных о пациенте, по которому завершён процесс вычисления оценки риска развития ИБС, сгенерирован диагноз о наличии или отсутствии ИБС и получено «согласие» врача-кардиолога о достаточной достоверности электронного диагноза.

Рассмотренный выше подход к персонализации работы программы позволяет устранить недостатки известных технических решений [4, 5], заключающиеся в отсутствии или ограниченности функции обучения путём «передачи» знаний врача-кардиолога в процессе работы с программой.

### **Вычисление оценки риска развития ИБС**

Далее в соответствии с произведенной классификацией состояния ССС пациента по группам ДП ИБС из базы данных [8] осуществляется выборка коэффициентов изменения риска развития ИБС. При этом условную вероятность наличия у пациента ИБС находят в соответствии с соотношением [9]:

$$P(A_i|B) = \frac{P(A_i) * \prod_j (P(B_{jk}|A_i))}{\sum_i \left( P(A_i) * \prod_j (P(B_{jk}|A_i)) \right)}, \quad (1)$$

где

$P(A_i|B)$  – условная вероятность истинности гипотезы  $A_i$  при наступлении события  $B$ ;

$A_i$  – гипотеза, соответствующая предположению о наличии или отсутствии формы ИБС у пациента, где  $i$  – номер гипотезы о наличии или отсутствии формы ИБС: 1 – болен ИБС; 2 – не болен ИБС;

$B$  – событие, соответствующее ситуации, когда была произведена классификация состояния ССС определенного пациента по группам диагностических признаков;

$P(A_i)$  – априорная вероятность истинности гипотезы  $A_i$ , вычисляется в соответствии с соотношением [9]:

$$P(A_i) = \frac{\sum_k (a_{jki} + 1)}{\sum_i \sum_k (a_{jki} + 1)}, \text{ при } \left( j \mid \sum_i \sum_k (a_{jki} + 1) = \max \left( \sum_i \sum_k (a_{jki} + 1) \right) \right), \quad (2)$$

где  $a_{jki}$  – число пациентов в обучающей выборке, чьё состояние ССС было классифицировано по  $j$ -тому ДП ИБС в  $k$ -тую группу, и у них было зафиксировано выполнение  $i$ -той гипотезы;

$j$  – номер ДП ИБС;

$k$  – номер группы  $j$ -того ДП, к которой было классифицировано состояние ССС диагностируемого пациента;

$B_{jk}$  – событие, соответствующее ситуации, когда была произведена классификация состояния ССС определенного пациента в  $k$ -тую группу  $j$ -того ДП;



$P(B_{jk}|A_i)$  – условная вероятность наступления события ( $B_{jk}$ ) проведения классификации состояния ССС пациента в  $k$ -тую группу  $j$ -того ДП при истинности  $i$ -той гипотезы ( $A_i$ ), вычисляется в соответствии с соотношением [9]:

$$\begin{cases} P(B_{jk}|A_i) = 0,5, \text{ при } k = 1; \\ P(B_{jk}|A_i) = \frac{\alpha_{jki} + 1}{\sum_{k=2}^{K_j} (\alpha_{jki} + 1)}, \text{ при } k \neq 1. \end{cases} \quad (3)$$

Необходимо отметить, что при вычислении  $P(B_{jk}|A_i)$  может иметь место ситуация, когда из-за недостаточности исходных кардиоданных, не удаётся произвести однозначную классификацию состояния ССС пациента в одну из групп какого-либо ДП. Для запуска процесса вычисления оценки риска развития ИБС в этой ситуации вводится под номером 1 ( $k=1$ ) дополнительная группа «Группа не определена». При этом для вычисления  $P(B_{jk}|A_i)$  для 1-ой группы не используется обучающая выборка и для  $P(B_{jk}|A_i)$  присваивается значение равной вероятности для всех альтернатив, которые в силу процедуры нормировки коэффициентов впоследствии сокращаются и не влияют на окончательную оценку. При получении дополнительной информации о пациенте, позволяющей классифицировать состояние его ССС по ранее неопределённым ДП, описанная выше процедура введения дополнительной группы №1 отменяется.

Важной особенностью предлагаемого алгоритма, позволяющей устранить недостатки известных технических решений [4, 5], является то, что врач-кардиолог получает информацию не только об итоговой оценке риска развития ИБС, но и данные, позволяющие ему оценить вклад в эту оценку каждого ДП. Такая информация необходима врачу-кардиологу для обучения программы на основе корректировки только тех коэффициентов значимости ДП, которые, по мнению врача-кардиолога, неадекватно отражают текущее состояние ССС конкретного пациента.

### **Оценка эффективности генерации электронного диагноза ИБС**

Оценку эффективности работы программы экспертной системы «АРМ-Кардиолог» при постановке первичного электронного диагноза ИБС будем осуществлять на основе известного метода матрицы ошибок, построенной по результатам клинических испытаний [10]. Метод позволяет оценить степень соответствия результатов генерации программой электронного диагноза ИБС результатам эталонной диагностики (ЭД). При этом в качестве результатов ЭД, будем считать результаты диагностики, осуществляемой врачом-кардиологом, в отношении одной и той же группы пациентов.

Матрица ошибок, применительно к решаемой задаче, иллюстрируется в таблице 1. В легенде под индексом  $\beta$  записаны коды значений проверяемой выборки, где значение 1 соответствует электронному диагнозу «есть ИБС», значение 2 соответствует электронному диагнозу «нет ИБС», генерируемому программой «АРМ-Кардиолог». В легенде под индексом  $\gamma$  записаны коды значений проверочной выборки, где значение 1 соответствует диагнозу «есть ИБС», значение 2 соответствует диагнозу «нет ИБС», где диагноз ставил врач-кардиолог. По главной диагонали матрицы показываются случаи, где результаты электронной диагностики программой «АРМ-Кардиолог» совпадают с результатами диагностики врачом-кардиологом, то есть считается что по данным пациентам электронная диагностика была проведена верно. Внедиагональные элементы показывают случаи несовпадения между результатами диагностики программы и врача-кардиолога (ошибки классификации).

$n$  – число пациентов, участвующих в клиническом эксперименте;

$n_{11}$  – число пациентов, по которым врач-кардиолог поставил диагноз «Есть ИБС» и «АРМ-Кардиолог» сгенерировал электронный диагноз «Есть ИБС»;

$n_{12}$  – число пациентов, по которым врач-кардиолог поставил диагноз «Нет ИБС» и «АРМ-Кардиолог» сгенерировал электронный диагноз «Есть ИБС» (случай неверной генерации электронного диагноза);

$n_{21}$  – число пациентов, по которым врач-кардиолог поставил диагноз «Есть ИБС» и «АРМ-Кардиолог» сгенерировал электронный диагноз «Нет ИБС» (случай неверной генерации электронного диагноза);

$n_{22}$  – число пациентов, по которым врач-кардиолог поставил диагноз «Нет ИБС» и «АРМ-Кардиолог» сгенерировал электронный диагноз «Нет ИБС»;





Таблица

Матрица ошибок результатов генерации электронного диагноза ИБС

		Проверочная выборка		
		1 (есть ИБС)	2 (нет ИБС)	$\Sigma$
Проверяемая вы- борка	$\beta \backslash \gamma$			
	1 (есть ИБС)	$n_{11}$	$n_{12}$	$\sum_{\gamma} n_{1\gamma}$
	2 (нет ИБС)	$n_{21}$	$n_{22}$	$\sum_{\gamma} n_{2\gamma}$
	$\Sigma$	$\sum_{\beta} n_{\beta 1}$	$\sum_{\beta} n_{\beta 2}$	$\sum_{\beta} \sum_{\gamma} n_{\beta\gamma}$

Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных случаев, а отношение этого количества к общему количеству случаев (тестируемых пациентов) называется общей точностью классификации, или в данном случае эффективностью генерации электронного диагноза ИБС (E), вычисляется в соответствии с соотношением:

$$E = \frac{n_{11} + n_{22}}{\sum_{\beta} \sum_{\gamma} n_{\beta\gamma}} \quad (4)$$

Вероятность ошибок классификации, то есть неверной генерации электронных диагнозов ИБС (F), вычисляется в соответствии с соотношением:

$$F = 1 - E \quad (5)$$

Также данный метод проверки эффективности позволяет вычислить точность определенного класса в проверяемой выборке, посредством чего возможно вычисление вероятности генерации программой «АРМ-Кардиолог» ложноположительных ( $F_1$ ) и ложноотрицательных ( $F_2$ ) электронных диагнозов ИБС на основе соотношений 6 и 7 соответственно.

$$F_1 = \frac{n_{12}}{\sum_{\beta} n_{\beta 2}} \quad (6)$$

$$F_2 = \frac{n_{21}}{\sum_{\beta} n_{\beta 1}} \quad (7)$$

В настоящее время осуществляются клинические испытания программы экспертной системы «АРМ-Кардиолог» [7, 8], результаты которых будут использованы для построения матрицы ошибок (табл. 1). Клинические испытания программы «АРМ-Кардиолог» состоят в том, что электронная диагностика ИБС с помощью упомянутой программы осуществляется в отношении тех пациентов, по которым ранее врачом-кардиологом уже был поставлен диагноз о наличии или отсутствии ИБС. В дальнейшем полученные результаты будут обработаны в соответствии с предложенным методом анализа матрицы ошибок.

**Закключение.** Таким образом, разработан алгоритм постановки первичного диагноза ишемической болезни сердца для программы экспертной системы «АРМ-Кардиолог». Разработаны требования к классификации состояния сердечнососудистой системы пациента по группам диагностических признаков ИБС. Рассмотрена возможность обучения врачом-кардиологом программного модуля оценки условной вероятности риска развития ишемической болезни сердца, входящего в состав «АРМ-Кардиолог». Предложен метод оценки эффективности постановки первичного электронного диагноза ИБС программой «АРМ-Кардиолог» по результатам



проводимых клинических испытаний. Реализация предложенного научным коллективом технического решения позволит повысить точность ранней диагностики и прогноза развития ИБС.

### Литература

1. Никитин, В. М. Информационная система поддержки принятия решений слабоструктурированных задач в кардиологии [Текст] / В.М. Никитин, В.В. Ломакин, Д.А. Анохин, И.К. Кайдалова, И.И. Иванов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. История Политология Экономика Информатика. – Белгород: Из-во БелГУ, 2010. №19 (90). Выпуск 16/1. – С. 112-119.
2. Никитин В.М. Информационная модель сердца [Текст] / В.М. Никитин, М.И. Постельник, Е.А. Липунова, Д.А. Анохин, И.И. Иванов // International Journal of applied and fundamental research. – 2011. – № 10. – С. 13.
3. Интеллектуальная справочная система по кардиологическим болезням и лекарственным препаратам АРМ-Кардиолог: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2011617001 Российская Федерация / Анохин Д.А., Никитин В.М., Ломакин В.В., Иванов И.И., Мерзликин А.А. – заявл. № 2011615294 от 15.07.2011; опубл. 08.09.2011.
4. Никитин, В.М. Комплексная информационная модель функционирования сердечно-сосудистой системы [Текст] / В.М. Никитин, В.В. Ломакин, Е.А. Липунова, М.И. Постельник, Д.А. Анохин, И.И. Иванов // Компьютерные науки и технологии: сборник трудов Второй Международной научно-технической конференции. 3-5 октября 2011, г. Белгород – Белгород: ООО «ГиК», 2011. – С. 298-304.
5. Мухаматзанова, М.Ш. Об актуальности применения информационных систем в медицине [Электронный ресурс] / М.Ш. Мухаматзанова, В.А. Юдин, С.И. Карась, М.А. Захарова // Медицина и образование в Сибири. – 2007. – №3 – Режим доступа: [http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text\\_full.php?id=135](http://www.ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=135), свободный (дата обращения: 08.06.2012).
6. Назаренко, Г.И. Роль генетической предрасположенности в развитии сердечнососудистых осложнений (инфаркт миокарда, ишемический инсульт, нестабильная стенокардия) и ее взаимодействие с традиционными факторами риска / Г.И. Назаренко, В.И. Скворцова, Е.Б. Клейменова, М.В. Константинова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2009. -№10 (вып. 2) – С. 19-26.
7. Оценка риска развития ИБС АРМ-Кардиолог: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2013610928 Российская Федерация / Анохин Д.А., Никитин В.М., Ефремова О.А., Иванов И.И., Губарева Н.А., Мерзликин А.А. – заявл. № 2012660595 от 04.12.2012; опубл. 09.01.2013.
8. БД АРМ-Кардиолог: свидетельство об офиц. регистрации Базы данных № 2013620223 Российская Федерация / Анохин Д.А., Никитин В.М., Ефремова О.А., Иванов И.И., Губарева Н.А., Мерзликин А.А. – заявл. № 2012621373 от 06.12.2012; опубл. 01.02.2013.
9. Жмудяк, М.Л. Диагностика заболеваний методами теории вероятностей / М.Л. Жмудяк, А.Н. Поваляхин, А.В. Стребуков, А.В. Гайнер, А.Л. Жмудяк, Г.Г. Устинов; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 168с.
10. Чандра, А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы [Текст] / Чандра А.М., Гош С.К. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.

## THE ALGORITHM OF INITIAL DIAGNOSING OF ISCHEMIC HEART DISEASE FOR EXPERT SYSTEM PROGRAM ARM-CARDIOLOGIST

**V.M. NIKITIN**  
**E.A. LIPUNOVA**  
**O.A. EFREMOVA**  
**D.A. ANOCHIN**  
**A.A. MERZLIKIN**  
**I.N. KURSHUBADZE**

*Belgorod National  
Research University*

*e-mail: [nikitin@bsu.edu.ru](mailto:nikitin@bsu.edu.ru)*

The article provides information about the original algorithm of statement of the primary electronic diagnosis of ischemic heart disease for the program of expert system "ARM-Cardiologist". Due to the fast development of medicine there is a large number of new information on diagnostics and ischemic heart disease (IHD) treatment for medical staff, there is a need for the telecommunication technologies, capable to expand diagnostic, advisory opportunities of the medical personnel and having a preventive focus more and more. Continuous training of such system will allow adjusting it in the shortest terms for the specific patient, using new scientific recommendations. The article suggests the method of an assessment of efficiency of the program of expert system "ARM-Cardiologist" by results of carried-out clinical tests.

Keywords: decision support system, telemedicine, cardiology, automated workstation, electronic diagnosis, IHD, Bayes theorem.